

# Study on vibration and noise control of urban rail transit operation lines in A City

Xin Lv

Tianjin Jinguo Rail Vehicle Co., Ltd., Tianjin, 300380, China

## Abstract

With the large-scale deployment of A City's rail transit network, wheel-rail vibration noise generated by train-track interactions has become increasingly significant in densely populated downtown areas, posing a critical challenge to both quality of life improvements and sustainable rail transit development. This study investigates vibration noise on A City's operational rail lines, analyzes its changing trends and underlying causes through multiple monitoring methods, and proposes optimization strategies for future implementation.

## Keywords

urban rail transit operation; vibration reduction and noise reduction; wheel rail relationship

## A市轨道交通运营线路振动噪声治理研究

吕鑫

天津津轨轨道车辆有限公司, 中国·天津 300380

## 摘要

随着A市轨道交通线网大规模投入使用,列车与轨道相互作用产生的轮轨振动噪声对市中心居民密集区影响日益显著,成为制约居民生活质量提升及轨道交通可持续发展的关键问题。本文针对A市轨道交通运营线路振动噪声展开研究,通过多种监测方式分析其变化趋势与成因,并提出后续优化方向。

## 关键词

城市轨道交通运营;减振降噪;轮轨关系

## 1 轨道交通运营线路振动噪声研究背景

随着城市轨道交通的快速发展,地铁运营时车辆和轨道相互作用带来噪声也越来越引起广大居民的关注,人们对噪声的问题也越来越重视。目前A市各主要穿越城市中心的线路,都是居民住宅、办公机构集中的区域,随着线网大规模建设投入使用,车辆运行过程中产生的轮轨噪声对环境的影响面最广,减小轨道交通的噪声已经成为提高人民生活质量,保持轨道交通可持续发展的关键之一。可以通过打磨轨道、车辆轮轨定期维护保养、控制运营时速降低由地铁引起的室内二次辐射噪声。<sup>[1]</sup>

## 2 A市轨道交通运营线路振动噪声监测方式

目前采取以下方式监测和分析正线振动噪声变化趋势和形成原因。

## 2.1 隧道壁振动测量

A市轨道交通运营公司每季度由轨道建设公司选取某一线路重点区间在隧道壁安装振动监测设备,该设备可记录列车经过设备时产生的钢轨、道床和隧道壁振动数据,监测周期为一天,监测周期内车辆部安排走行公里数差异较大的列车上线运行,可收集动态范围更大的振动数据。由于各线路列车状态不同,收集的振动数据可体现出不同状态下的振动波动情况。

1号线电客车振动数据如下图所示。

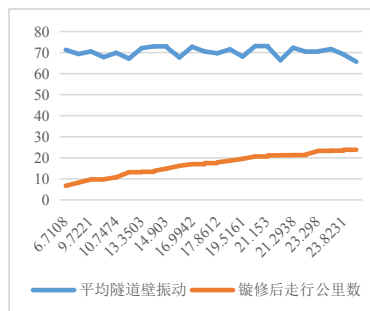


图 1.1 1号线隧道壁振动数据变化情况

【作者简介】吕鑫(1993-),男,中国天津人,本科,工程师,从事城市轨道交通设备管理研究。

1号线已于2023年初完成全部列车镟修工作，由数据可知，车轮经过整体镟修后，25万公里内车辆振动平均值为70dB，差异性不超过4%（66-73dB）。1号线数据说明车轮镟修可有效消除车辆方面产生的振动离散情况。

## 2 号线电客车振动数据如下图所示

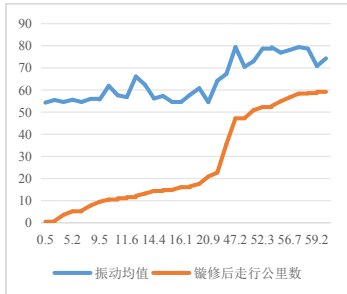


图 2.2 号线隧道壁振动数据变化情况

截至2023年12月，2号线所配属的45列电客车中，完成了36列电客车镟修作业，根据振动数据分析得知，已镟修车辆的平均振动值为57.5dB，未镟修车辆的平均振动值为75.5dB，经过镟修后振动值显著下降。另外数据显示，列车走行47万公里后，在此节点后，振动值显著上升。

## 3 号线电客车振动数据如下图所示：

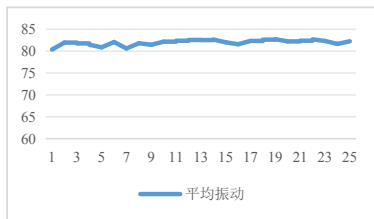


图 3.3 号线隧道壁振动数据变化情况

3号线镟修频率较高，基本每走行30万公里进行一次整车镟修，期间根据轮对状态进行单轴镟修，另外部分电客车完成了第二次大修修程，在修程中更换了轮对，根据振动数据分析得知，3号线轮对状态良好，平均振动值为81.9dB，差异性小于2%（80.4-82.7dB）。另外数据说明大修后的列车在初期走行1万公里内振动值略高，1万公里后振动值下降，初步分析列车经过大修后各部件需要一定时间进行磨合，磨合后达到最佳运行状态，但数据量较小，还需收集更多数据进一步分析。

根据上述各线路数据分析可知，列车镟修频率越高，车轮振动差异性越小，走行47万公里后振动值和离散性显著上升，可作为列车周期镟修的参考节点。

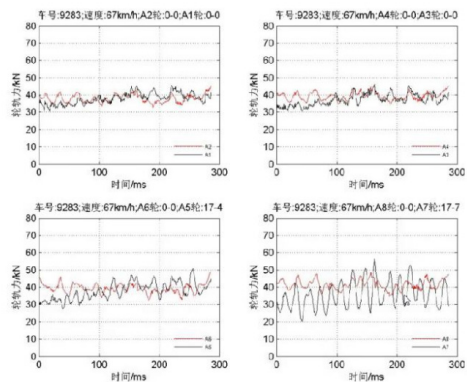
### 2.2 号线运行品质监测系统

2023年6月，A市轨道交通运营公司开展的《3号线城轨车辆运行品质在线检测系统应用研究》科研项目完成施工，整套系统包括现场轮轨力测量平台、车号自动识别装置、现场数据采集分析中心和远程控制中心组成，总测试区长度6m左右，可覆盖车轮圆周2周以上。十组传感器组成了大

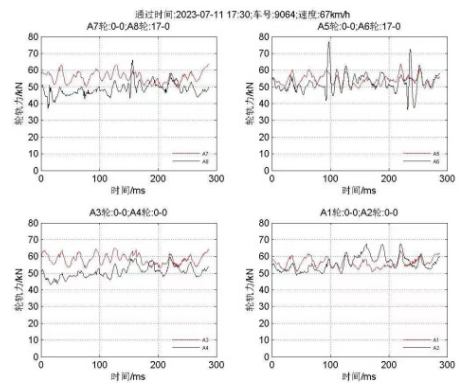
组桥轮轨测量区段，实现了整轮周范围内轮轨力的全连续检测。经过数据计算分析，可对轮对踏面损伤（擦伤、剥离、局部多边形）、车轮偏载、轨道通过负荷进行自动识别，实现车轮状态的实时监控，根据系统预警与现场轮对实际状态进行对比学习，最终实现周期镟修到状态镟修的转变。

经系统分析剔除运行速度、轴重、偏载等变化的无关因素，计算得出轮对轮轨力数值，单位为冲击当量，判定冲击当量小于16时车轮状态正常，16-19为三级预警，19-23为二级预警，23以上为一级预警。

在异常车轮经过设备时，系统根据实时状态形成底层分析数据，从下图可以看出带有踏面损伤车轮的轮轨力幅值明显高于正常车轮，且带有一定的震荡周期特征，是典型的多边形损伤特征。由于多边形异常无法通过目视检查发现，通过镟床测量车轮径跳值发现该轮对径跳值为0.21mm，显著高于其他正常车轮（0.11mm）。



下图为车轮踏面损伤所呈现的轮轨力异常曲线图。可以看出A6轮存在显著的异常轮轨力冲击，该轮经过镟修后轮轨力数值恢复正常。



将异常轮对与正常轮对进行对比，异常轮对的噪声分贝值普遍高于正常轮对。正常车辆噪声区间为77-97dB，异常车轮噪声区间为96-102dB。

### 2.3 小结

轮轨引起的噪声是城市轨道交通系统中由于列车车轮与钢轨接触摩擦而产生的声音，这种噪声通常在列车运行过程中持续产生，尤其在列车起动、制动、加速或通过曲线时更为显著。<sup>[2]</sup>在一年的各线路振动数据分析积累上，结合车轮运用160万公里的运行寿命基础，另外，考虑列车运行车

轮正常磨损以及镟修工作削减量,预计每次镟修后轮径值下降10—15mm,根据现行规程要求在160万公里时更换新轮。综合考虑列车每走行35万-45万公里,从架修时整车镟修调整为换轮周期内进行3—4次整车镟修,可有效降低车轮不圆度,提升车轮状态,对维持轴箱轴承状态稳定及降低轮轨振动噪声均有益处。后续将持续进行轮轨振动噪声分析工作,继续优化车轮镟修周期。

### 3 下一阶段研究方向

#### 3.1 走行部在线监测系统应用研究

目前A市各线路目前走行部在线监测系统配置情况如下表所示:

表1 走行部在线监测系统配置表

线路	配置情况	备注
1号线	5列	
2号线	10列	随架修开展,计划31列车全部加装。
3号线	1列	试装一列,暂无批量安装计划。
4号线	2列	2列车为科研项目加装。现结合9号线信号系统改造为所有既有车加装系统。
5号线	22列	全部配属

目前各线路走行部在线监测系统的轴箱振动还无法进行数据导出进行分析,随着各线路监测系统投入使用,计划对系统进行深入研究,将数据按车号、监测时间、监测区间等方面进行统计,形成轮对振动数据库,可以详细分析轮对变化情况,并与轨道建设公司建立数据共享平台,共享异常振动数据,共同提高轮轨结合质量。

另外,目前轮轨振动噪声监测方式较多,包括轨道建设公司可安装在隧道壁的振动监测设备、运营公司各线路走行部在线监测系统数据以及3号线轮轨状态监测科研项目,可提供大量轮对振动相关数据。但各类数据尚未以统一标准进行类比,仅能判断车辆车轮方面离散性,各类数据也未与《城市轨道交通引起建筑物振动与二次辐射噪声限值及其测量方法标准》(JGJ-T170-2009)等国标所要求的数据进行对比。计划与轨道建设公司联合开展工作,对各线路以国标标准进行振动噪声监测,将监测数据与已有各类数据进行对比,做到系统监测数据与标准相对应,也可以更加清晰的根据已有数据知晓各线路车辆、区间是否超标,有的放矢的提高振动噪声提升与改进。

#### 3.2 车厢降噪措施研究

考虑减振一体化设计,综合考虑车辆、轨道专业减振降噪技术的组合应用,<sup>[1]</sup>车轮部件的声压级贡献量从大到小排列为辐板、踏面、轮缘、轮辋、轮毂。<sup>[4]</sup>根据运营公司实际情况,应当针对踏面的特性设置相应的降噪措施。另外,结合现有研究内容,车内噪声传播路径主要分为结构声和空气声两种方式,其中空气声路径占主导,可通过提升地板、侧墙、端部区域的隔声性能来降低车内噪声。

结合既有线路以及香港地铁车体降噪措施,从底板结

构优化、侧墙及车窗结构优化等方面研究通过既有车改造降低车厢噪声的可行性。

表2 减震降噪部件配置表

部件	配置	静海线	10号线	香港地铁
地板	固定形式	浮动式	刚性固定	浮动式
	填充材料	陶瓷纤维+38mm碳纤维	19mm陶瓷纤维	陶瓷纤维+38mm碳纤维
	隔声片	加装	无	无
侧墙	侧墙厚度	140mm	130mm	125mm
	填充材料厚度	30mm	15mm	15mm
	窗体间阻尼片	加装	无	无

#### 3.3 持续跟踪车轮径跳值变化规律

从各线路选取部分车辆,每季度(每走行4万公里)通过镟床测量各车轮径跳值数据,将径跳值与列车走行公里和轮轨振动数据进行统一分析,研究其中变化规律。

#### 3.4 精细调整镟修作业标准

目前各线路执行的《电客车车轮镟修技术规范》,从轮缘高度和轮缘厚度对镟修作业削减量进行作业要求,镟修要求轮缘厚度为25.5mm—32.5mm,轮缘高度为26—28mm,作业时主要考虑轮缘厚度是否符合标准。在正常情况下,轮缘厚度越大,车轮可磨耗量越大,不需要考虑由于车轮低于运用标准而进行单轴或单车镟修。但镟修作业时若只考虑保持轮缘厚度,那么轮径值将会大幅下降,一般每调高1mm轮缘厚度需要牺牲4.5mm轮径值,长期保持较高轮缘厚度会影响车轮使用寿命。下一步根据各车辆部车轮运用状态,精细制定镟修标准,在保证车轮运用的基础上,尽量减少消耗轮径值,在车轮使用寿命内做到35万-45万公里的3—4次整车镟修作业。

### 4 结语

城市轨道交通应从源头、传播途径、受声点3个方向加强噪声控制技术研究 and 应用。<sup>[1]</sup>本文主要将轨道交通运营线路二次振动辐射噪声与车辆走行公里数建立联系,根据噪声变化规律和车轮使用寿命找到合适的车轮镟修公里数。另外根据现有技术条件通过更专业的车轮状态监测工具来收集车轮尺寸变化情况,以求更精细的制定车辆镟修周期。

#### 参考文献

- [1] 宋楚洋.城市轨道交通二次辐射噪声监测分析及减缓措施.运输经理世界.2023,(35):10-12
- [2] 刘姚铭.城市轨道交通系统噪声特点及其整治方法.城市轨道交通研究.2025,28(S1):25-28
- [3] 汤慧迪.南通市轨道交通减振降噪实践探索.建筑科技.2024,8(01):34-38
- [4] 尚婷,众豪等.城市轨道交通车轮声阵特性研究.四川环境.2024,12:63-67
- [5] 户文成,刘磊等.城市轨道交通噪声污染防治进展.科技导报.2024,42(20):70-80